





(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Strahlerzeugungssystem für Elektronen oder Ionen-
strahlen hoher Monochromasie oder hoher Stromdichte

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf ein Strahlerzeu-
gungssystem für Elektronen- oder Ionenstrahlen mit
einer Strahlquelle und einem Monochromator mit Ab-
lenkfeldern, welche in der dispersiven Ebene ein
astigmatisches Zwischenbild der Strahlquelle erzeu-
10 gen, und einer Schlitzblende in der dispersiven
Ebene mit einer Orientierung des Schlitzes in Rich-
tung der Längsausdehnung des astigmatischen Zwi-
schenbildes.
- 15 Zur Untersuchung mikroskopischer Strukturen werden
häufig Elektronen- oder Ionenstrahlen eingesetzt.
Dabei wird unter Hochvakuum der aus einem Strahler-
zeugungssystem austretende Teilchenstrahl mit Hilfe
elektronen- oder ionenoptischer Abbildungssysteme
20 auf die zu untersuchenden Strukturen gelenkt. Die
Teilchen des Teilchenstroms erfahren hierbei in-
folge der Wechselwirkung mit der zu untersuchenden
Materie eine Änderung ihrer Eigenschaften, die mit
Hilfe von Detektoreinrichtungen registriert und an-
25 hand dieser Änderungen Aussagen über den Aufbau der
Strukturen gewonnen werden. Bekannte Verfahren,
welche auf diesem Prinzip beruhen, sind beispiels-
weise Röntgenanalyse, Energieverlustspektroskopie,
Transmissionselektronenmikroskopie oder Rasterelek-
tronenmikroskopie. Ebenfalls zu diesem Verfahren
30 gehört die Elementanalyse, bei der hinter jedem
Punkt des Objektes das Energiespektrum ermittelt
wird und aus der Lage des Punktes und dem Energie-

- 2 -

spektrum zusammen Aussagen über das Objekt gewonnen werden.

Bei diesen Verfahren sind entscheidende Parameter der abbildenden Teilchen die Teilchenstromdichte und die Monochromasie der Teilchen. In der Elektronenmikroskopie z. B. werden zur Vermeidung des chromatischen-Bildfehlers, der die Auflösung des Systems begrenzt, Elektronen mit einer sehr geringen Energiebreite, d. h. möglichst hoher Monochromasie, benötigt. Die Energieverlustspektroskopie beispielsweise ist dagegen auf hohe Teilchenstromdichten angewiesen, um eine ausreichende Ausbeute an gestreuten Teilchen zu erhalten und damit die Analyse in endlicher Zeit durchführen zu können.

Die bekannten Systeme zur Erzeugung von Teilchenströmen sind so aufgebaut, daß sie entweder hohe Teilchendichten oder hohe Monochromasie (DE 196 33 496 A1) erzeugen. Will man Analysen durchführen, die alternativ sowohl hohe Teilchendichten als auch hohe Monochromasie erfordern, ist man daher auf den Einsatz von zwei verschiedenen Strahlerzeugungssystemen angewiesen, die nach dem heutigen Stand der Technik in getrennten Apparaturen zur Verfügung gestellt werden.

Die Erfindung hat sich zur Aufgabe gestellt, diesem Nachteil Abhilfe zu verschaffen und den Bedarf nach einem Strahlerzeugungssystem für Elektronen oder Ionen zu entsprechen, das wahlweise einen Teilchenstrom mit hoher Monochromasie bei niedriger Teilchenstromdichte oder einen Strom hoher Teilchen-

- 3 -

stromdichte bei geringer Monochromasie zur Verfügung stellt.

5 Ausgehend von einem Strahlerzeugungssystem mit
Strahlquelle und Monochromator wird diese Aufgabe
dadurch gelöst, daß der Monochromator mit einem zu-
sätzlichen Strahlführungssystem ausgestattet ist
und in seinem Eingang ein Umschaltelement aufweist,
10 das die von der Strahlquelle kommenden Teilchen
entweder dem Monochromator oder dem zusätzlichen
Strahlführungssystem zuführt. In Abhängigkeit des
vom Umschaltelement vorgegeben Teilchenweges werden
Teilchenstrahlen mit unterschiedlichen Teilchenei-
15 genschaften erzeugt. Bei einem Weg der Teilchen
durch den Monochromator wird an dessen Ausgang ein
Teilchenstrom hoher Monochromasie, beim alternati-
ven Weg durch das zusätzliche Strahlführungssystem
am Ausgang ein Teilchenstrom mit hoher Teilchen-
stromdichte zur Verfügung gestellt.

20 Das Strahlerzeugungssystem gemäß der Erfindung er-
möglicht, zwei Strahlerzeugungssysteme herkömmli-
cher Bauart durch ein einziges Gerät zu ersetzen
und innerhalb einer Apparatur wahlweise Teilchen-
25 ströme mit den dargelegten unterschiedlichen Eigen-
schaften zur Verfügung zu stellen. Für die Analyse
mikroskopischer Strukturen ergibt sich hieraus der
Vorteil, Untersuchungen an ein und demselben Objekt
und an demselben Ort nach unterschiedlichen Verfah-
30 ren mit derselben Apparatur durchführen zu können.

Durch die Verminderung des apparativen Aufwandes
werden erhebliche Kosten eingespart, da Apparaturen

- 4 -

der genannten Art eine sehr hohe fertigungstechnische Präzision erfordern und dementsprechend kostspielig sind. Eine wesentliche Zeit- und damit Kostenersparnis ergibt sich auch dadurch, daß Untersuchungen nach unterschiedlichen Verfahren mit derselben Apparatur durchgeführt werden können.

Bei einer zweckmäßigen Ausbildung ist das zusätzliche Strahlführungssystem so angeordnet, daß es zwischen Ein- und Ausgang des Monochromators eine direkte d.h. unmittelbare Verbindung herstellt. Diese Ausführungsform ermöglicht eine sehr kompakte Bauweise des Strahlerzeugungssystems, da die Baumaße im wesentlichen nur durch die des Monochromators bestimmt werden.

Für eine kompakte Bauweise aber auch im Hinblick auf die einfache bauliche Realisierung ebenfalls von Nutzen ist, wenn das Umschaltelement ein Teilsystem des Monochromators selbst bildet. Der Begriff "Teilsystem" meint im Sinne der Erfindung, daß ein Teil eines Ablenkfeldes des Monochromators zur Umschaltung genutzt wird. Der durch das zusätzliche Strahlführungssystem erzeugte Strahlengang wird in diesem Fall durch einen Strahldurchtritt im Ablenkfeld erzeugt.

Beim Einsatz des Strahlerzeugungssystems in Untersuchungen mit unterschiedlichen Anforderungen an Teilchenstromdichte und Monochromasie ist es von Vorteil, wenn die Stromdichte regelbar ist. Im erfindungsgemäßen Strahlerzeugungssystem wird diese Regelung mittels einer Blende vorgeschlagen, die

zwischen Umschaltelement und Strahlquelle angeordnet ist und mit Hilfe einer Justiervorrichtung senkrecht zur optischen Achse verschiebbar ausgerichtet ist. Zusätzlich oder alternativ hierzu kann
5 die Regelung der Stromdichte auch mit Hilfe der Strahlquelle erfolgen. Für diesen Fall ist auch die Strahlquelle mit einer Justiervorrichtung ausgestattet, durch welche die Strahlquelle senkrecht zur optischen Achse verschoben werden kann.

10 Die Justiervorrichtung für Blende und/oder Strahlquelle läßt wenigstens zwei Einstellungen zu, wobei die eine Einstellung eine maximale und die andere eine niedrige Teilchenstromdichte am Ausgang des
15 Strahlerzeugungssystems zur Verfügung stellt. Die Einstellung mit maximaler Teilchenstromdichte ist dadurch gegeben, daß Blende und Strahlquelle optimal justiert sind, was dann der Fall ist, wenn der Mittelpunkt von Blende und Strahlquelle auf der optischen Achse des zusätzlichen Strahlführungssystems liegen. In diesem Fall passiert eine maximal
20 mögliche, nur durch den Blendendurchmesser begrenzte Anzahl von Teilchen die Blende. Eine Verschiebung der jeweiligen Mittelpunkte von Blende und/oder Strahlquelle aus dieser Position heraus in
25 Richtung senkrecht zur optischen Achse führt jeweils zu einer Reduzierung der am Ausgang des Strahlerzeugnisses zur Verfügung gestellten Teilchenstromdichte. Eine geringe Teilchenstromdichte
30 ist insbesondere bei Verwendung des Strahlerzeugungssystems zur Herstellung von Teilchen hohe Monochromasie von Bedeutung, da die geringe Dichte den Einfluß des Boersch-Effektes vermindert. Dieser

5 Begriff bezeichnet das Phänomen, daß bei Elektronenstrahlen, die in einem Punkt fokussiert werden, aufgrund der dann in diesem Bereich herrschenden hohen Stromdichte und der hieraus resultierenden gegenseitigen Beeinflussung der Elektronen die Energiebreite des Strahles eine drastische Aufweitung erfährt.

10 Bei einer vorteilhaften Weiterbildung wird die Justiervorrichtung zur Verschiebung von Blende und/oder Strahlquelle durch ein piezoelektrisches Element gebildet, bei dem die schrittweise Verschiebung durch Anlegen einer elektrischen Wechselspannung erzeugt wird. Mit diesem Element lassen
15 sich Blende und/oder Strahlquelle sehr genau positionieren. Die gewünschte Position wird durch eine entsprechende Zeitdauer der Verschiebung eingestellt.

20 Die Justierung mittels Piezoelement weist gegenüber mechanischen Justiervorrichtungen den Vorteil einer hohen Genauigkeit der Positionierung auf. Als zusätzlicher Vorteil ist auch anzusehen, daß keinerlei externe mechanische Verstellglieder notwendig
25 sind. Da das erfindungsgemäße Strahlerzeugungssystem im Hochvakuum eingesetzt wird, entfallen hierdurch technisch aufwendige Durchführungen durch die Wandung des Vakuumgefäßes. Im Rahmen der Erfindung steht grundsätzlich frei, Monochromatoren mit
30 magnetischen oder elektrischen Feldern einzusetzen. Der einfacheren Herstellung wegen ist der Verwendung von Monochromatoren mit elektrostatischen Feldern jedoch der Vorzug zu geben.

- 7 -

5 Eine vorteilhafte Ausbildung des erfindungsgemäßen Strahlerzeugungssystems bei Verwendung elektrostatischer Felder innerhalb des Monochromators weist Elektroden auf, die in Schnitten senkrecht zur optischen Achse zumindest stückweise durch gerade Linien begrenzt sind und zu einer die optische Achse beinhalten- Ebene spiegelsymmetrisch verlaufen. Durch die stückweise gerade Oberflächengestaltung wird der Aufwand zur Herstellung dieser Elektroden
10 vergleichsweise gering gehalten.

15 Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung lassen sich dem nachfolgenden Beschreibungsteil entnehmen, in dem anhand einer Zeichnung ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Strahlerzeugungssystems wiedergegeben wird.
20

Die Zeichnung zeigt einen Schnitt durch das Strahlerzeugungssystem, welcher durch die optische Achse von Monochromator und zusätzlichen Strahlführungssystem gelegt ist.
25

Der Monochromator (1) mit seinen Ablenkelementen (2 - 5) ist in Form eines Ω aufgebaut. Das zusätzliche Strahlführungssystem (6) ist zwischen Eingang (7) und Ausgang (8) des Monochromators angeordnet. Die optische Achse des Monochromators wird durch das Bezugszeichen (9) wiedergegeben, das Bezugszeichen (10) bezeichnet die optische Achse des Strahlfüh-
30

run gssystem s.

Der von der Strahlquelle (11) kommende Teilchenstrom (12) wird durch die Blende (13) zur Regulierung der Teilchenstromdichte gelenkt. Im Anschluß daran passiert er das Umschaltelement (14), das in der dargestellten Ausführungsform ein Teilelement des Monochromators bildet. Abhängig vom Schaltzustand des Umschaltelementes wird der Teilchenstrom entweder durch den Monochromator umgelenkt oder dem zusätzlichen Strahlungssystem (6) zugeführt.

Bei einem Weg des Teilchenstroms durch den Monochromator folgt in der dispersiven Ebene (15) eine Aufspaltung des Strahls nach Energien der Teilchen. Mittels einer in diesen Ebene angeordneten Schlitzblende (16), deren Schlitz bei der vorliegenden Ausführungsform des Monochromators senkrecht zur Zeichenebene steht, erfolgt die Selektion der Teilchen nach Energien. Dabei wird durch die Breite der Blende die Breite des Energiespektrums und durch den Abstand des Blendenmittelpunktes von der optischen Achse die mittlere Energie des Teilchenstrahls festgelegt. Bei einer Einstellung der Schlitzblende auf geringe Breite wird am Ausgang (8) des Monochromators ein Teilchenstrahl hoher Monochromasie zur Verfügung gestellt.

Bei einem Weg des Teilchenstroms durch das zusätzliche Strahlführungssystem (6) passiert der Teilchenstrom im vorliegenden Ausführungsbeispiel einen Strahldurchtritt (17) im Umlenkelement und wird durch einen gleichgestalteten Strahldurchtritt (18)

- 9 -

am Ausgang des Monochromators in diesen wieder eingefädelt. Bei einer optimalen Justierung von Strahlquelle (11) und Blende (13), d. h. z. B. wenn ihre Mittelpunkte auf der optischen Achse (19) des Strahlerzeugungssystems liegen, wird am Ausgang des zusätzlichen Strahlführungssystems, der im vorliegenden Ausführungsbeispiel mit dem Ausgang des Monochromators zusammenfällt, ein Teilchenstrahl hoher Stromdichte zur Verfügung gestellt.

10

P A T E N T A N S P R Ü C H E

=====

- 5 1. Strahlerzeugungssystem für Elektronen oder Ionenstrahlen mit einer Strahlquelle und einem Monochromator mit Ablenkfeldern, welche in der dispersiven Ebene ein astigmatisches Zwischenbild der Strahlquelle erzeugen, und einer Schlitzblende in
10 der dispersiven Ebene mit einer Orientierung des Schlitzes in Richtung der Längsausdehnung des astigmatischen Zwischenbildes, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Monochromator mit einem zusätzlichen Strahlführungssystem ausgestattet ist und an seinem
15 Eingang ein Umschaltelement aufweist, das die von der Strahlquelle kommenden Teilchen entweder in den Monochromator oder dem zusätzlichen Strahlführungssystem zuführt.
- 20 2. Strahlerzeugungssystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das zusätzliche Strahlführungssystem eine direkte Verbindung zwischen Ein- und Ausgang des Monochromators herstellt.
- 25 3. Strahlerzeugungssystem nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Umschaltelement einen Teil eines Ablenkfeldes des Monochromators selbst darstellt und einen Strahldurchtritt für den
30 durch das zusätzliche Strahlführungssystem erzeugten Strahlengang aufweist.

4. Strahlerzeugungssystem nach einem der Ansprüche
1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen Um-
schaltelement und Strahlquelle eine Blende und eine
5 Justiervorrichtung vorgesehen ist, durch welche die
Blende senkrecht zur optischen Achse verschiebbar
ist.

10 5. Strahlerzeugungssystem nach einem der Ansprüche
1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Justier-
vorrichtung vorgesehen ist, durch welche die
Strahlquelle senkrecht zur optischen Achse ver-
schiebbar ist.

15

6. Strahlerzeugungssystem nach Anspruch 4 oder 5,
dadurch gekennzeichnet, daß die Justiervorrichtung
aus einem piezoelektrischen Element besteht.

20

7. Strahlerzeugungssystem nach einem der vorange-
henden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die
Ablenkfelder des Monochromators elektrostatische
25 Felder bilden und die die Felder erzeugenden Elek-
troden in Schnitten senkrecht zur optischen Achse
zumindest stückweise durch gerade Linien begrenzt
sind und zu einer die optische Achse beinhaltenden
Ebene spiegelsymmetrisch verlaufen.

30

8. Verwendung des Strahlenerzeugungssystems nach
einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekenn-**

- 12 -

zeichnet, daß es in den Strahlengang von elektro-
nenoptischen Systemen, wie Elektronenmikroskopen
eingebaut wird.

1/1

